

Evaluation de la présence d'adventices dans les lots de semences : méthodes internationales standardisées et apport de la vision artificielle à l'évolution des méthodes.

M.R. Mannino, V. Muracciole, G. Cesbron, C. Dussetour, J.C. Stéphan, J. Léchappé

Station Nationale d'Essais de Semences, GEVES, rue Georges Morel, 49071 Beaucouzé cedex

Correspondance : mannino.maria-rosaria@wanadoo.fr

Résumé

L'article présente les méthodes d'analyse de la pureté spécifique des semences mises en œuvre à la SNES (Station nationale d'Essais de Semences) dans le cadre du contrôle officiel des lots en vue de leur commercialisation. L'évolution du cadre réglementaire des analyses (Directives Européennes et Règlement Technique de Certification du GNIS) est aussi présentée, ainsi que la conséquente évolution des méthodes d'analyse, adaptées pour pouvoir répondre aux nouvelles exigences.

L'analyse des résultats produits par la SNES sur plusieurs années permet de tracer l'évolution de la présence d'espèces étrangères dans les lots de semences. Dans l'article est présenté un extrait des résultats obtenus dans les dix dernières campagnes.

L'analyse des semences selon les méthodes internationales standardisées relève de la perception humaine et de l'expertise des analystes. De nombreux systèmes de vision artificielle ont été réalisés ou font l'objet aujourd'hui de recherche. L'article présente les résultats des travaux conduits à la SNES dans ce domaine, en partenariat avec l'ESEO, le LISA et l'ENITIAA – INRA. Ils ont conduit à la réalisation d'un prototype automatisé pour l'analyse de tournesol, capable d'acquérir et traiter des images de semences en chute libre pour répondre aux exigences réglementaires sur la présence de semences étrangères.

Introduction

Un des facteurs de contrôle de la flore adventice au champ est l'utilisation de semences propres. Ce principe était à la base de la définition des exigences réglementaires d'abord françaises et ensuite européennes en matière de qualité des semences commercialisées à partir des années 30. Après une longue période de développement de la technique de désherbage, la nécessité d'emploi de semences indemnes d'espèces étrangères apparaît à nouveau comme un facteur de réussite de la culture. L'emploi de lots à pureté spécifique élevée réduit la diffusion d'espèces à haut degré de nuisibilité (*Avena fatua* L., *Rumex* spp.), ainsi que celles d'espèces difficilement contrôlables (*Alopecurus myosuroides* Huds.) ou absentes dans certaines régions (*Orobancha* sp.).

Le contrôle des lots de semences pour la présence d'espèces étrangères : la réglementation

Les semences étrangères recherchées dans les lots et soumises aux **normes européennes et nationales** sont spécifiques d'un point de vue agronomique aux espèces cultivées dans lesquelles elles sont recherchées. Ainsi, les espèces *Alopecurus myosuroides* Huds. et *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski sont recherchées lors des analyses de contrôle des graminées fourragères car de contrôle difficile au champ et difficilement éliminables par le triage en usine. Pour les mêmes raisons, les espèces du genre *Melilotus* font l'objet de recherches dans les semences de légumineuses fourragères.

D'autres, comme *Avena fatua* L., *Avena sterilis* L., *Rumex* spp., *Cuscuta* spp., reconnues comme très nuisibles dans toute culture, sont plus largement recherchées dans les semences des différents groupes d'espèces, fourragères, protéagineuses, oléagineuses, céréales et plantes à fibres. Leurs seuils de tolérance dans les lots de semences font l'objet de **Directives Européennes et du Règlement Technique de Certification du GNIS**. Ces espèces sont également mentionnées dans les normes du commerce des semences de nombreux autres pays en dehors d'Europe.



Figure 1 : *Avena fatua* L. (à gauche) et *Cuscuta* spp. (à droite). Pour ces espèces le règlement technique de certification établit des normes très strictes (0 dans un échantillon de poids fixé) pour des nombreuses espèces cultivées.



Les standards de qualité évoluent lentement au cours des années, en fonction de différents facteurs tels que le niveau de risque qui est considéré comme acceptable lors de la mise en place d'une culture, la faisabilité technique et économique de production de lots de semences plus ou moins indemnes en semences étrangères, les intérêts économiques et les contraintes techniques de production des différents pays intervenant dans la définition de ces normes.

Au début des années trente, les exigences n'étaient pas les mêmes qu'aujourd'hui. Ainsi, 20 semences de *Cuscuta* spp. dans un échantillon de 100 grammes de semences de luzerne était un taux acceptable, alors qu'aujourd'hui la norme européenne est de 0 semence dans un échantillon de même taille.

Le contrôle des lots de semences pour la présence d'espèces étrangères : les méthodes standardisées

Parallèlement à la réglementation, les méthodes d'analyse des semences ont été adaptées pour pouvoir répondre à des exigences en évolution et aux nouvelles contraintes.

Depuis 1924, l'**ISTA (International Seed Testing Association)**, association internationale des laboratoires d'analyse des semences, met au point et fait évoluer les méthodes d'analyse grâce au travail technique et scientifique mené au sein de ses comités techniques.

En 1956 l'ISTA a créé le **Comité de Pureté**, comité technique dont une des missions est encore aujourd'hui de faire évoluer ou de mettre au point les méthodes d'évaluation de la pureté d'espèce des semences. Des nombreux thèmes abordés dans les programmes de travail du comité concernent le domaine de l'identification d'espèces : la distinction entre *Poa trivialis* L. et *Poa pratensis* L., la morphologie et l'identification des semences d'adventices et d'espèces cultivées, l'évaluation des semences pures, les espèces tropicales et subtropicales, la classification des semences immatures, l'identification et l'évaluation de la nuisibilité des espèces du genre *Avena* et de leurs hybrides, l'analyse de semences du genre *Bromus*, le développement de la « Universal List of Species » (Liste Universelle d'Espèces). Cette liste comprend 130 espèces qui sont reconnues de large diffusion et conseillées par l'ISTA comme espèces des collections de référence des laboratoires accrédités. Associé à cette liste,

un document de référence, en cours d'élaboration, illustre les semences de ces espèces avec des descriptions botaniques et des photos.

En ce qui concerne la présence d'adventices, deux méthodes d'analyse standardisées par l'ISTA sont utilisées aujourd'hui dans le cadre de l'évaluation de la qualité des lots en vue de leur commercialisation : la pureté spécifique et la recherche de semences étrangères. Grâce à ces analyses, la SNES (Station Nationale d'Essais de Semences), laboratoire officiel de contrôle des lots, obtient les valeurs de pureté spécifique et de teneur en semences d'autres plantes qui permettent d'évaluer la qualité des semences commercialisées par rapport aux standards de qualité du Règlement Technique de Certification.

L'**analyse de pureté** consiste dans la séparation de l'échantillon d'environ 2500 semences en trois composants : 'semences pures', 'semences d'autres plantes' et 'matières inertes'. Cette séparation se fait sur la base d'un tri manuel et d'une observation de chaque élément qui constitue l'échantillon.

Les résultats obtenus, exprimés en pourcentages de semences pures et d'impuretés, permettent l'évaluation du lot de semences par rapport aux valeurs minimales de teneur en semences pures de l'espèce cultivée et aux valeurs maximales de semences étrangères prévues par la réglementation. L'**analyse de dénombrement** consiste dans la recherche dans un échantillon d'environ 25 000 semences, des semences appartenant à d'autres espèces, qui peuvent être la totalité des espèces (lots de catégorie de base) ou certaines espèces particulières indiquées dans le Règlement Technique de Certification (lots de catégorie certifiée). Les résultats sont exprimés en nombre de semences de chaque espèce étrangère détectée dans un échantillon de poids déterminé et représentatif du lot. Elles permettent par exemple l'évaluation du lot par rapport aux normes qui concernent des espèces particulièrement nuisibles, comme *Avena fatua* L., *Avena sterilis* L., *Cuscuta* spp. *Melilotus* spp. *Orobanch* spp. La diffusion en Europe d'espèces du genre *Orobanch* inquiète aujourd'hui de plus en plus les producteurs de colza et tournesol. Cette espèce, fait l'objet de normes très strictes au champ et au laboratoire (taux 0 exigé pour la certification des cultures et des lots de semences). A cause de la taille très réduite des semences (0,2-0,5 mm), leur détection demande l'emploi d'outils et de méthodes particulières d'analyse (tamisage et observation au microscope, méthode par filtration).

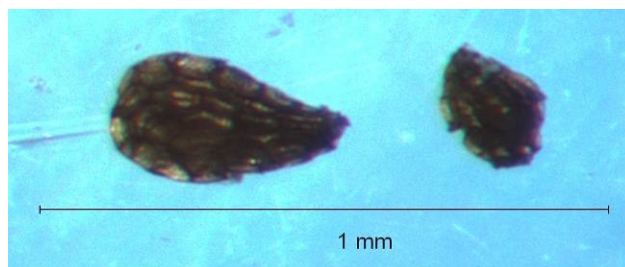


Figure 2 : Semences d'*Orobanch* sp. Leur taille très réduite (0,2-0,5 mm) rend nécessaire l'adoption de précaution pour en éviter la perte lors des manipulations de l'échantillon et l'observation à fort grossissement (de 45x à plus de 350x).

Les normes de qualité qui portent sur des semences étrangères particulières impliquent l'identification au niveau taxonomique de l'espèce. Pour l'appréciation des semences pures, sont utilisées les définitions de l'ISTA (environ 60 définitions différentes) qui décrivent l'unité de semence en détaillant les différentes parties qui constituent la « semence pure ». Pour l'identification des semences d'espèces étrangères, la morphologie de la semence et de ses différentes parties (taille, forme, couleur, texture du tégument du fruit ou de la graine, morphologie de l'embryon, présences d'appendices) est prise en compte pour permettre la classification dans les espèces ou genres d'appartenance. Puisque les lots destinés au commerce sont issus de processus de triage en usine de production, les impuretés résiduelles sont caractérisées très souvent par une taille et une morphologie très proches de l'espèce analysée, d'où la difficulté de ces analyses et la haute technicité qu'elles requièrent, en particulier des

connaissances approfondies en botanique et taxonomie pour l'identification des semences pures et celle des semences étrangères.

Pour la réalisation de ce travail d'analyse, le laboratoire dispose aussi d'outils adaptés : équipements d'aide à la séparation et identification des composants, documents techniques internes et externes et collections de semences de référence. Une **collection de 17 000 espèces**, une de plus importantes au monde, est présente au laboratoire et utilisée lors des identifications plus complexes.

Le laboratoire produit aussi une collection de semences contenant les échantillons, les descriptions botaniques et les photos de 175 espèces parmi les plus fréquentes. Cet ouvrage est commercialisé dans ses deux versions en français et en anglais. Il sera complété par un deuxième tome contenant 100 autres espèces dont la publication est prévue en 2009.

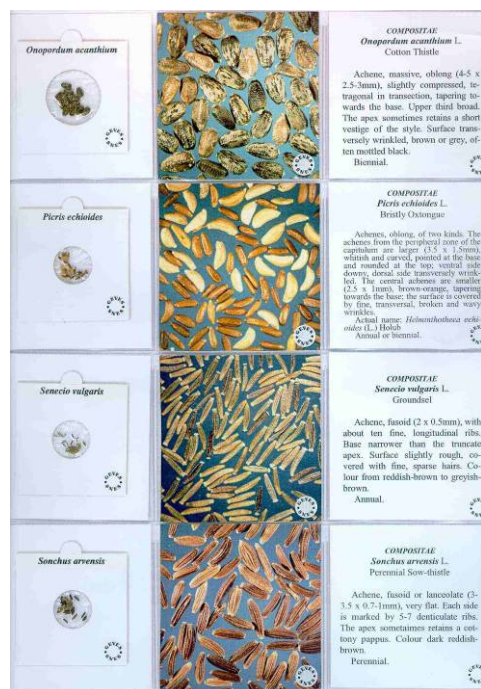


Figure 3 : Page de l'ouvrage "DESCRIPTIVE AND ILLUSTRATED COLLECTION OF MAIN WEED SEEDS" produit par la SNES et édité par le GEVES (version en anglais).

Le contrôle des lots de semences pour la présence d'espèces étrangères : les méthodes complémentaires

Lors de l'analyse de pureté spécifique et dénombrement, il est parfois nécessaire de recourir à des outils pour identifier des semences étrangères rares, déformées ou douteuses ou également pour distinguer entre semences d'espèces différentes, mais très proches morphologiquement.

Le test au phénol est réalisé en complément de l'analyse de dénombrement dans le but de détecter la présence de *Triticum aestivum* L. dans les échantillons de *Triticum durum* Desf. Le péricarpe de *Triticum aestivum* L. est imprégné par une solution à 1% de phénol (acide phénique), puis exposé à l'air en conditions d'obscurité. Les caryopses de *Triticum aestivum* L. réagissent en prenant une teinte plus ou moins foncée due à l'action des phénol-oxydases contenues dans le péricarpe du grain ce qui permet leur distinction des caryopses de *Triticum durum* Desf. qui ne modifient pas leur couleur.

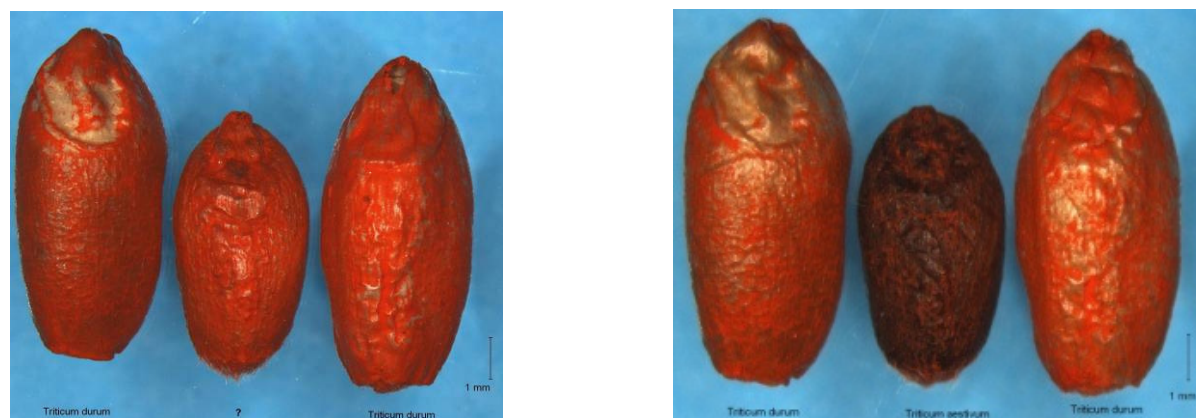


Figure 3 : Après réalisation du test à l'acide phénique (à droite), le caryopse de *Triticum aestivum* L. se colore en noir, ce qui le rend facilement détectable dans un échantillon de semences de *Triticum durum* Desf. qui ne modifient pas leur couleur après traitement (photos SNES).

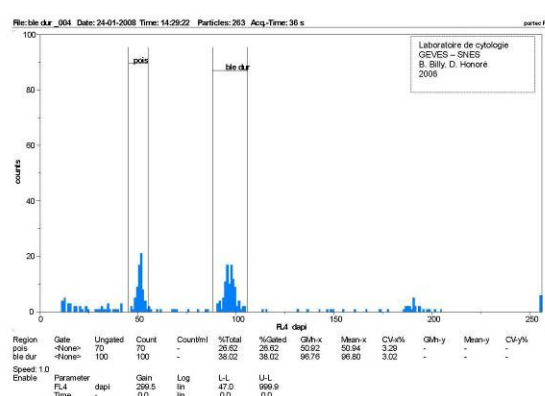
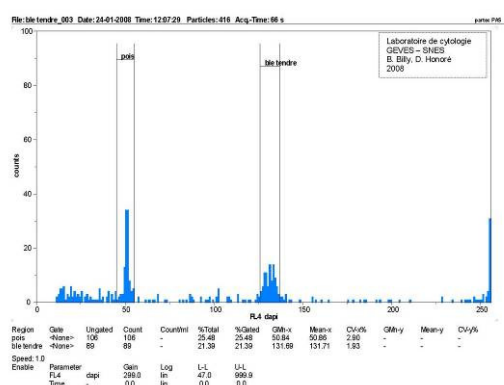
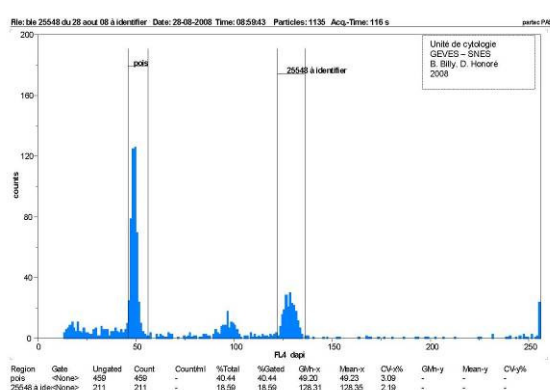


Figure 4 : La cytométrie en flux a confirmé l'appartenance de la semence au milieu à l'espèce *Triticum durum* Desf. Le pic de fluorescence de son ADN marqué au DAPI coïncide avec celui de la semence témoin à droite dans la photo.

Des distinctions entre espèces sur la base de la taille des génomes peuvent être révélées par **cytométrie en flux**. La méthode, mise en place au laboratoire de Cytologie de la SNES, emploie un fluorochrome, le DAPI, qui se lie à l'ADN des noyaux cellulaires. La fluorescence mesurée est proportionnelle à la quantité d'ADN de chaque noyau et donc à la taille du génome de chaque espèce. Ces mesures permettent par comparaison à des témoins connus de confirmer ou infirmer l'identification

d'espèce sur parties d'organes végétaux ou sur semences. Grâce à cette méthode, il est possible de distinguer des espèces dont les semences sont morphologiquement très proches, comme par exemple chez certaines variétés de *Triticum durum* Desf., *Triticum aestivum* L. et X *Triticosecale* spp.

La **radiographie** est une méthode d'analyse de la qualité des semences standardisées par l'International Seed Testing Association (ISTA). Au même titre que d'autres méthodes officielles comme la germination, la pureté spécifique et l'état sanitaire, cette méthode est mise en place à la SNES depuis les années 80 pour l'évaluation de la qualité d'échantillons issus des lots de semences et elle peut faire l'objet de Bulletins Internationaux ISTA. Cette technique, non destructive, permet de mettre en évidence la morphologie interne de fruits et graines. Ceci contribue, au regard des normes ISTA, à en apprécier le degré de nuisibilité.



Figure 5 : Images photographiques et radiographiques de siliques de *Raphanus raphanistrum* L. (ravenelle). La mise en évidence de la morphologie interne permet d'évaluer la présence des semences et donc le degré potentiel de nuisibilité en culture (photos SNES).

Evolution de la présence d'adventices dans les lots de semences

L'analyse des résultats produits par la SNES sur plusieurs années permet de tracer l'évolution de la présence d'espèces étrangères dans les lots de semences. Cet article illustre seulement quelques exemples des exploitations possibles de cette importante base de données.

Campagne	Nombre d'échantillons analysés	Nombre d'espèces cultivées analysées	Nombre d'espèces étrangères détectées	Pourcentage d'échantillons avec semences étrangères
98-99	16243	162	386	29
99-00	15441	174	343	28
00-01	16207	147	316	28
01-02	15872	155	332	28
02-03	16434	116	303	28
03-04	17191	119	318	29
04-05	16157	116	317	29
05-06	15847	142	321	29
06-07	15128	132	318	27
07-08	14811	134	328	26

Tableau 1 : Echantillons analysés à la SNES, nombre d'espèces cultivées concernées par les contrôles et nombre d'espèces étrangères détectées par campagne.

Le laboratoire d'Analyses physiques de la SNES analyse environ 17 000 échantillons représentatifs des lots de semences de plus de 150 différentes espèces en vue de leur commercialisation. Lors de ces

analyses, des graines étrangères sont détectées dans environ 30% des lots, ces graines correspondant à plus de 350 espèces étrangères. Cette proportion varie en fonction des espèces cultivées, des itinéraires techniques de production au champ et des difficultés de triage en usine.

Le pourcentage de semences étrangères dans les lots soumis au contrôle dépasse rarement les seuils de certification qui varient, à titre d'exemple, de 0 % dans le maïs à 0,3 % dans le tournesol, jusqu'à 1,5 % dans les principales espèces graminées et légumineuses fourragères (Figure 6).

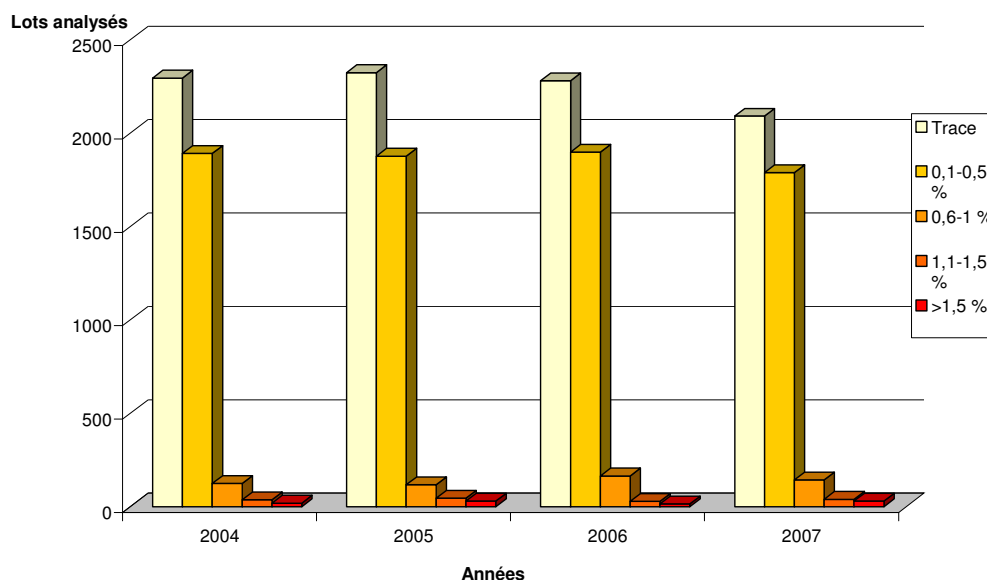


Figure 6 : Evolution des lots avec présence de semences étrangères et répartition dans les classes de contamination

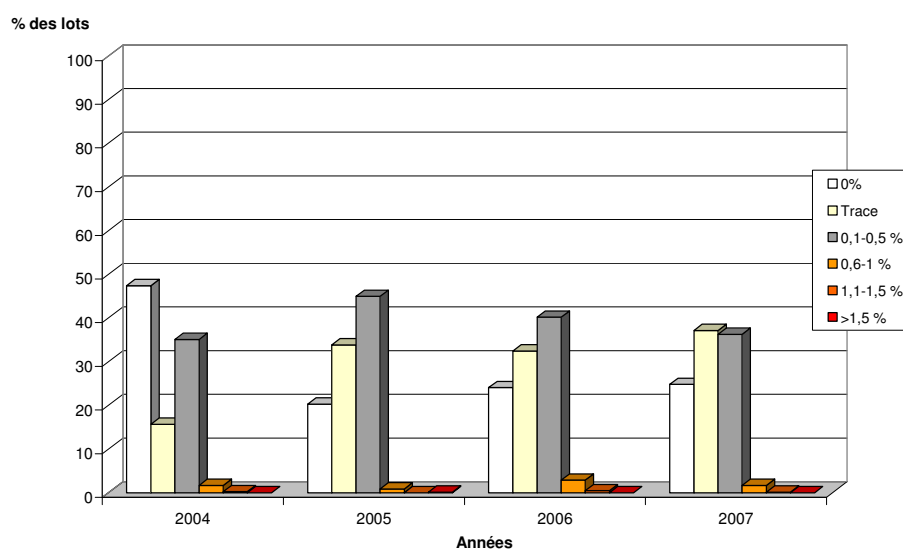


Figure 7 : Répartition des lots de *Lolium perenne* L. (ray-grass anglais) avec présences de semences étrangères dans les classes de contamination

La répartition entre classes de contamination varie en fonction des espèces. Les pourcentages plus élevés concernent les espèces fourragères, en particulier les *Poaceae* (graminées). A titre d'exemple, la

proportion de lots avec pourcentage de semences étrangères supérieur à trace est comprise entre 37 et 46 % pour le ray-grass anglais et 80-85 % pour la fétuque élevée (Figures 7 et 8) alors qu'elle ne dépasse pas, dans les quatre dernières années, 2 % des lots de tournesol (Figure 9).

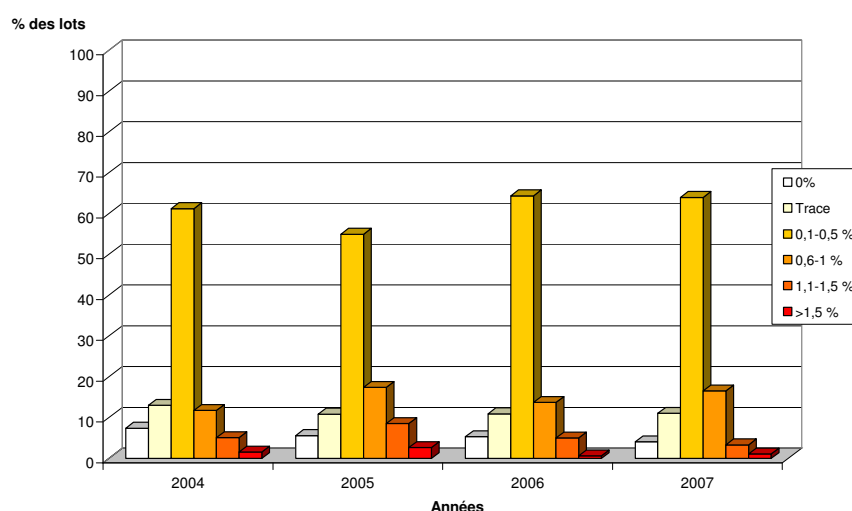


Figure 8 : Répartition des lots de *Festuca arundinacea* Schreb. (fétuque élevée) avec présences de semences étrangères dans les classes de contamination

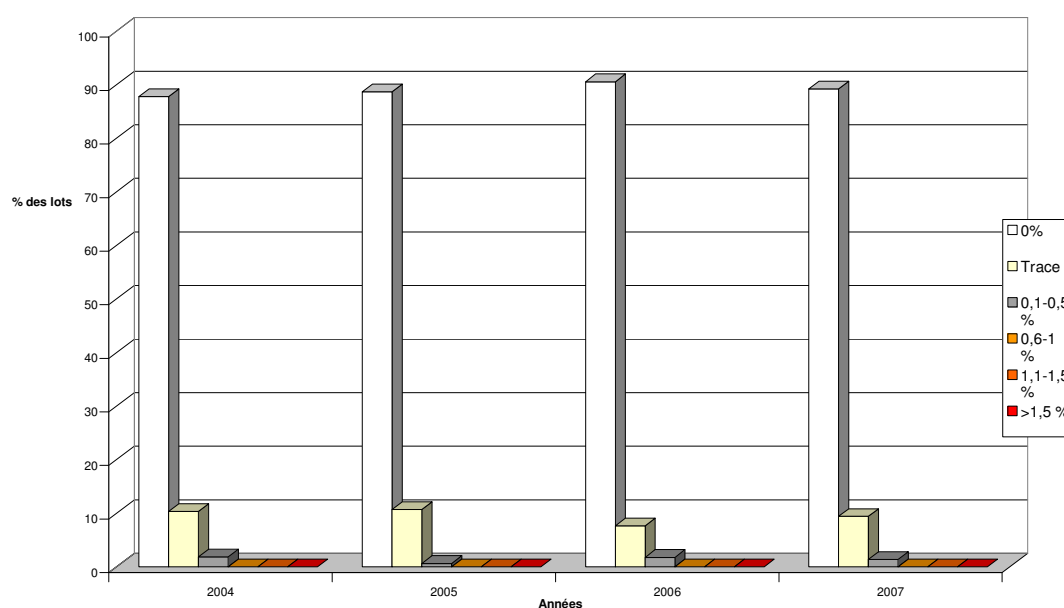


Figure 9 : Répartition des lots d'*Helianthus annuus* L. (tournesol) avec présence de semences étrangères dans les classes de contamination

Environ une vingtaine d'espèces sont à considérer comme les plus fréquentes dans les lots de semences (Figure 10). Il s'agit d'adventices, mais aussi d'autres espèces cultivées. *Alopecurus myosuroides* Huds., *Vulpia* sp., *Brassica* sp., *Chenopodium* sp. montrent des fréquences en augmentation avec des variations importantes d'une années sur l'autre. D'autres, comme *Poa trivialis* L. et *Poa annua* L., apparaissent en diminution.

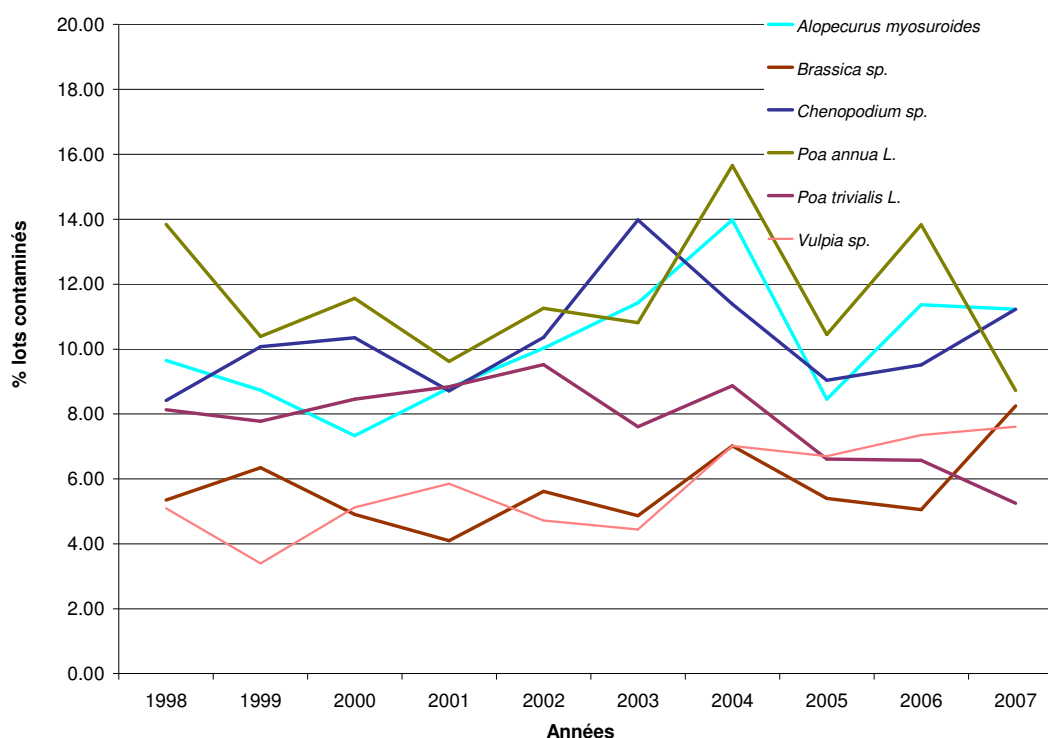


Figure 10 : Fréquence de détection des principales espèces étrangères dans les lots contaminés

Certaines adventices apparaissent fréquemment dans les diverses espèces cultivées. C'est le cas de *Chenopodium sp.*, très fréquente dans les lots de ray-grass et de luzerne. D'autres espèces montrent par contre des fréquences de détection variables en fonction de l'espèce cultivée, comme le montrent les figures 11 et 13.

En ce qui concerne plus particulièrement le ray-grass anglais, six espèces sont parmi les plus fréquentes dans les lots (Figure 11). Parmi celles-ci, il est à souligner l'importance de l'*Alopecurus myosuroides* Huds. (Figure 12), adventice soumise à norme selon la réglementation en vigueur, qui présente les fréquences de détection les plus élevées dans les lots au cours de ces dix dernières années.

Les données concernant les fréquences de détection des espèces dans les lots de ray-grass montrent un pic important en 2001 qui peut être dû à des conditions particulières lors de la production des semences au champ.

L'analyse des données acquises sur les lots de luzerne (Figure 13) montre que *Chenopodium sp.*, l'adventice la plus importante pour cette espèce, apparaît en diminution pendant ces dix dernières années. Parmi les espèces les plus représentatives des adventices de la luzerne, *Picris echinoides* L., *Setaria sp.* et *Rumex sp.* présentent des variations pendant la période d'observation, sans montrer des tendances à l'augmentation ou à la baisse.

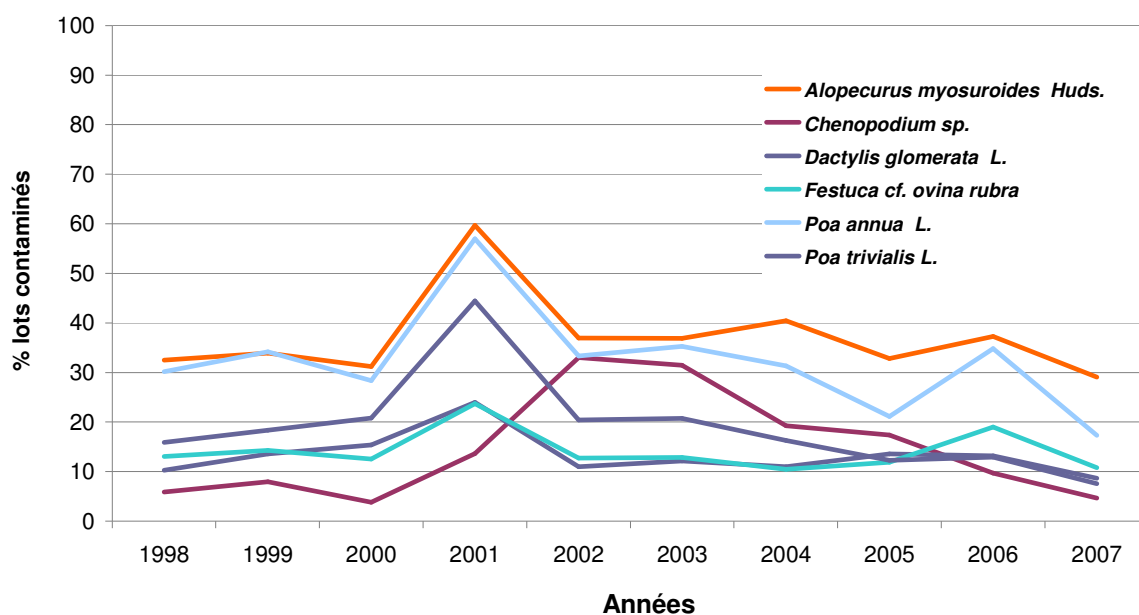


Figure 11 : Fréquence de détection des principales espèces étrangères dans les lots de *Lolium perenne* L. (ray-grass anglais)



A)



B)



C)

Figure 12 : A) Plantes d'*Alopecurus myosuroides* Huds. (vulpin) dans une culture de ray-grass (photo FNAMS). B) Semences d'*Alopecurus myosuroides* Huds. (vulpin) et C) de *Lolium perenne* L. (ray-grass anglais). Les caractéristiques morphologiques très proches empêchent leur séparation lors du triage en usine (photos SNES).

Ces données montrent la bonne qualité des semences certifiées. Des tendances à l'augmentation dans certaines périodes peuvent s'expliquer par des difficultés de triage, par l'apparition de résistances vis-à-vis de certains désherbants, le retrait d'homologation de certains herbicides ou l'adoption de nouvelles pratiques culturales.

Ces données peuvent être valorisées dans le choix d'orientations des programmes d'étude sur la qualité des semences et dans le cadre de la biovigilance et de la gestion des territoires.

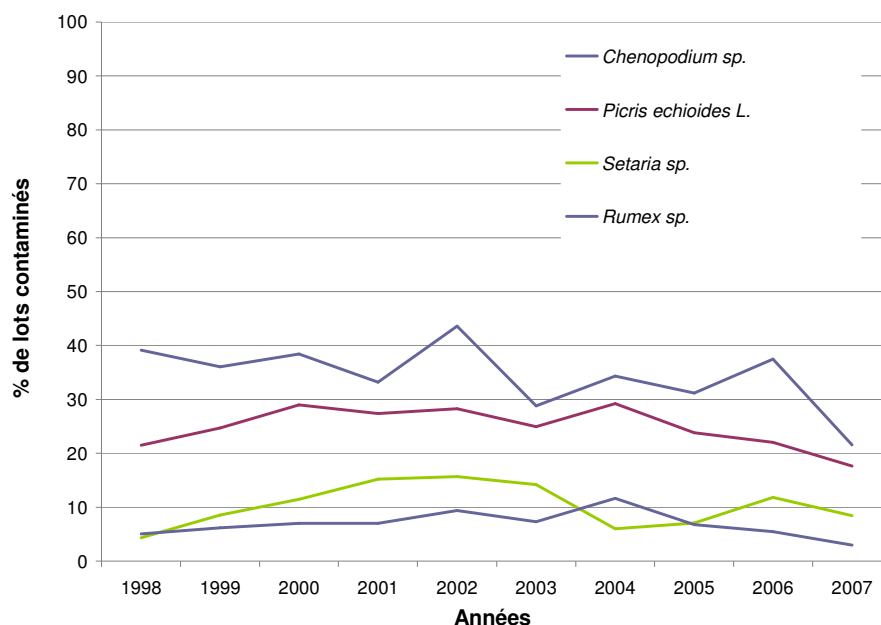


Figure 13 : Fréquence de détection des principales espèces étrangères dans les lots de *Medicago sativa* L.

Mise au point de nouvelles méthodes d'analyses pour le contrôle de la présence d'espèces étrangères : la vision artificielle

L'analyse des lots de semences selon les méthodes internationales standardisées relève de la perception humaine et de l'expertise des analystes. De nos jours, de nombreux systèmes basés sur la vision artificielle ont été développés et font l'objet de recherche pour l'amélioration de la qualité des lots ou leurs contrôles. Dans ces domaines, peuvent être cités les travaux réalisés par Granitto *et al.* (2002) et la thèse de Y. Chtioui (1997) pour la caractérisation et l'identification des semences d'adventices, Majumdar et Jayas (2000) pour le contrôle des lots de céréales et les travaux de Daoust *et al.* (2005) sur l'intégration d'un système d'identification pour la réalisation des analyses de contrôle.

Ce type de recherche nécessite l'utilisation de compétences pluridisciplinaires issues de la biologie, de la chimiométrie, du traitement de l'image, de la physique et de l'électronique. L'activité de recherche méthodologique de la SNES s'inscrit dans ce cadre. Cette activité implique une collaboration avec des unités de recherches spécialisées dans ces différents domaines. La région Pays de la Loire par le biais des deux contrats de plan état région de 1994-1999 et de 2000-2006 (thème VISIOSEM) a permis de créer une collaboration entre unités de recherches: le Laboratoire d'Instrumentation des Systèmes Automatisés de l'université d'Angers, le laboratoire de Chimiométrie Sensométrie de l'ENITIAA de Nantes, le centre de recherche et d'étude de l'Ecole Supérieure d'Electronique de l'Ouest, le secteur recherche de la Fédération Nationale des Agriculteurs Multiplicateurs des Semences et le laboratoire de technologie des semences de la société Vilmorin.

Les semences sèches présentent plusieurs particularités lorsqu'il s'agit de les soumettre à des analyses automatisées. Elles présentent d'abord une grande variabilité naturelle en termes de morphologie, de couleur et de texture. Elles font l'objet d'une grande attention en termes de qualité et de conditionnement. Elles sont soumises à une réglementation très précise quant à leur certification et à leur commercialisation.

Il est attendu, à leur sujet, que les techniques nouvelles offrent des clichés de qualité et fournissent de quoi développer des méthodes statistiques issues de la chimométrie qui permettront d'identifier, de comparer et de reclasser les semences.

Cette recherche a conduit à la réalisation d'un prototype automatisé d'acquisition d'images de semences. Ce prototype utilise un principe de chute libre afin d'acquérir des images de semences à très haute cadence.

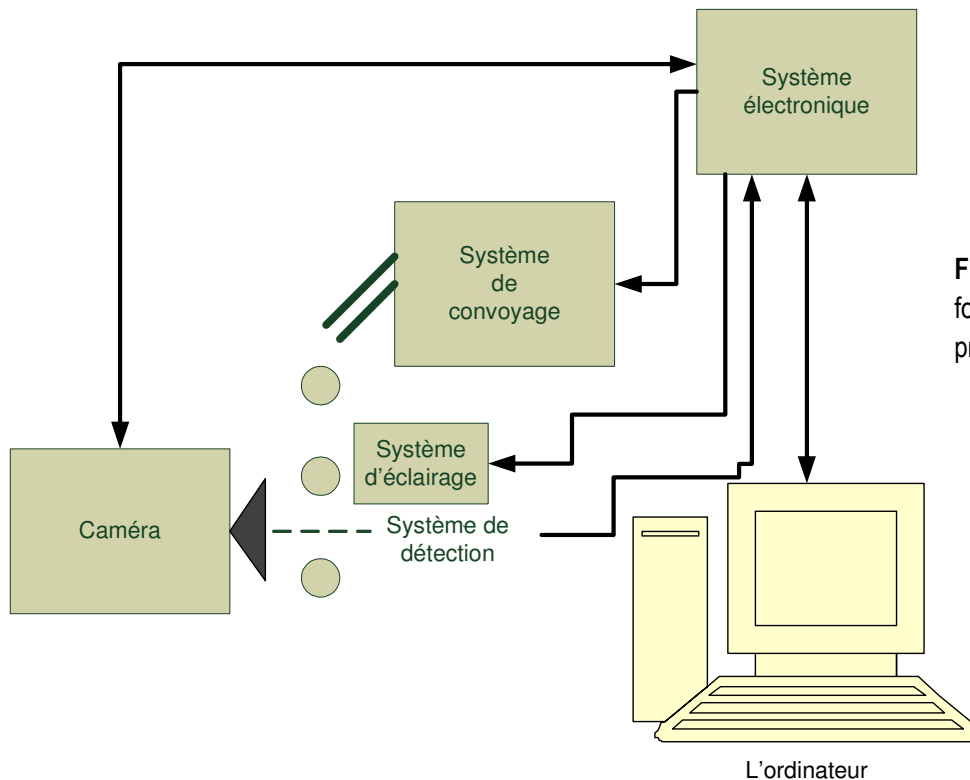


Figure 14 : Schéma de fonctionnement du prototype

Dans le prototype développé, la présence d'une semence en face de la caméra déclenche une prise d'image associée à un flash d'une durée de 80 μ s. Cette durée permet d'éviter le flou issu du mouvement de la semence en chute. Le système est en cours de validation sur tournesol, espèce pour laquelle, au vu de la réglementation, l'identification de toutes semences d'espèces étrangères est nécessaire. Pour deux espèces particulières (*Cuscuta* sp. et *Avena fatua* L.), une reconnaissance à 100% est indispensable, compte tenu de la norme de certification qui est de zéro semence dans un échantillon de 1kg (environ 25 000 semences). L'identification des cuscutes par le système actuel n'est pas réalisable en raison des contraintes techniques du prototype. Un simple tamisage préventif permet de séparer la fraction de l'échantillon contenant des semences de morphologie similaire à l'espèce cuscute.

A partir de ces différentes contraintes, une base d'images d'espèces les plus fréquemment présentes dans les lots de tournesol a été créée. Le tableau 2 présente le nombre d'images acquises pour chaque espèce.

Espèces	Abreviation	Nbre d'images	Espèces	Abreviation	Nbre d'images
<i>Avena fatua</i>	Af	217	<i>Secale cereale</i>	Sc	343
<i>Beta vulgaris</i>	Bv	226	<i>Sorghum bicolor</i>	Sb	217
<i>Abutilon</i> sp.	Ab	218	Achene d' <i>Helianthus annuus</i>	aHa	430
<i>Glycine max</i>	Gm	208	<i>Triticum aestivum</i>	Ta	461
<i>Lens culinaris</i>	Lc	209	<i>Xanthium</i> sp.	Xs	271
<i>Calystegia sepium</i>	Cs	207	x <i>Triticosecale</i>	xT	291
<i>Zea mays</i>	Zm	231	Semence d' <i>Helianthus annuus</i>	sHa	582
<i>Hordeum vulgare</i>	Hv	214	Graine endommagée d' <i>Helianthus annuus</i>	dHa	257
<i>Pisum sativum</i>	Ps	216	Sclérote de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	ScS	369
<i>Polygonum convolvulus</i>	Pc	226			
Nombre total d'images acquises		5393			

Tableau 2 : Nombre d'images acquises par groupe avec le système automatisé.

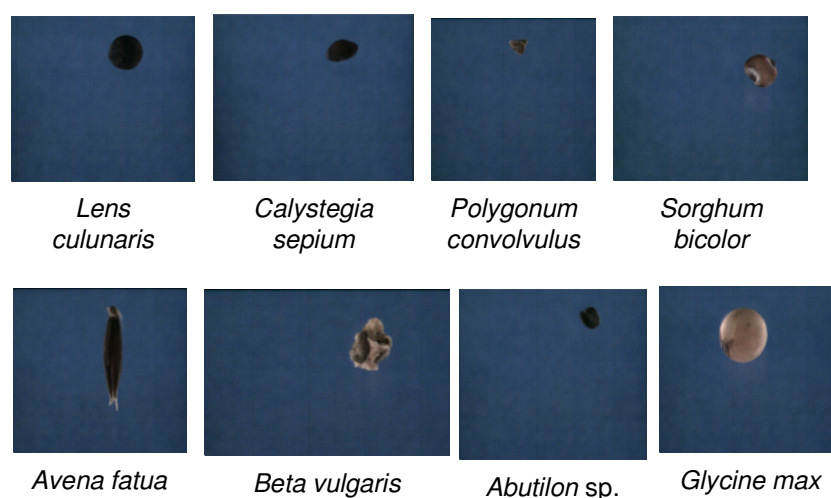


Figure 15 : Exemples d'images de semences acquises avec le prototype

A partir de cette base, des méthodes d'analyse d'image automatisées ont permis l'extraction de 116 paramètres, comprenant des paramètres morphologiques, de couleur et de texture, définis dans les articles de Majumdar et Jayas (2000).

Ces paramètres permettent de caractériser les différentes espèces et servent à l'apprentissage et au test des algorithmes de reconnaissance de forme couramment utilisés dans ce domaine. Ils résument chaque semence par des coordonnées utilisées pour le calcul de la distance minimale entre les différentes espèces acquises, ce qui permet leur identification. La figure 9 est une représentation de ces distances issue d'une combinaison linéaire des coordonnées extraites. Elle permet de représenter en 2 D les différentes espèces les unes par rapport aux autres et résume également le comportement des algorithmes de reconnaissance de forme appliqués.

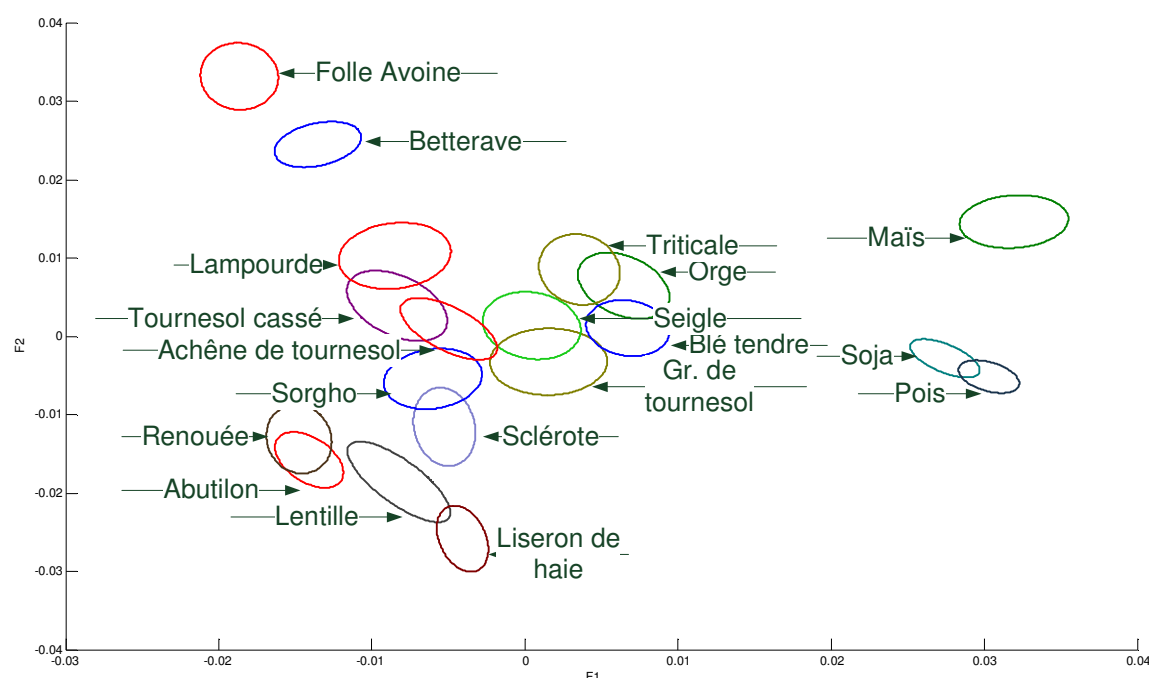


Figure 16 : Carte de représentation de la dispersion des espèces selon les deux principaux axes d'une analyse discriminante factorielle.

Afin de tester les algorithmes de reconnaissance de forme (analyse discriminante linéaire ou LDA, analyse discriminante quadratique ou QDA), deux jeux de données ont été créés : un premier jeu de 1792 images pour réaliser l'apprentissage, le second de 3601 images pour les tester.

De manière générale, le système a permis d'obtenir une précision de reconnaissance entre 86 % avec LDA et 96 % avec QDA. Après analyse des résultats, il est apparu qu'il était difficile au système de reconnaître des semences présentant des défauts ou des orientations variables lors de leur prise d'image.

Dans le cadre de l'utilisation préconisée du prototype, le résultat obtenu nous permet néanmoins de séparer une fraction conséquente de l'échantillon contenant exclusivement des semences de tournesol. Afin de répondre totalement aux besoins de la certification, l'intervention d'un analyste expérimenté est donc nécessaire à ce stade. Une possibilité, actuellement en cours d'étude, est de réaliser un nouveau système capable de prendre plusieurs vues de la même semence grâce à l'utilisation de plusieurs caméras. Ceci devrait permettre d'augmenter la précision de reconnaissance et de faire évoluer les objectifs de la recherche vers un système de tri totalement autonome et également vers un système de phénotypage des semences à très haut débit.

Références bibliographiques

- Binoa R.J., Aartse J.W., van der Burg W.J., 1993. Non-destructive X-ray analysis of *Arabidopsis* embryo mutants. *Seed Science Research*, 3, 167-170.
- Chtioui Y., 1997. Reconnaissance automatique des semences par vision artificielle basée sur des approches statistiques et connexionnistes. Thèse, IRESTE.
- Daoust T., Fujimura K., McDonald M.B., Bennett M.A., 2005. A computer based system for seed identification. *Seed Technology*, 27, 190-202.
- Dell'Aquila A., 2007. Towards new computer imaging techniques applied to seed quality testing and sorting. *Seed Sci. & Technol.* 35, 519-538.

- GNIS, 2007. Règlements techniques de la production, du contrôle et de la certification des semences. Edition 2007.
- Goodman R.C., Jacobs D.F.; Karrfalt R.P., 2006. Using X-Ray image analysis to assess the viability of northern red oak acorns: implications for seed handlers. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations – 2005, 143-146.
- Granitto Pablo M.P.F.V. Ceccatto H.A., 2003. Automatic identification of weed seeds. ASAI.
- ISTA, 2008. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Edition 2008.
- Janson J.P., Deneufbourg F., 2005. Maîtrise des adventices en production de semences de graminées fourragères : appréciation du risque et mesure des conséquences d'un salissement en vulpin dans du ray-grass anglais porte-graine. Les 3èmes Rencontres du Végétal, Angers, 17 et 18 novembre 2005, Recueil des Communications. p. 87-88.
- Le Bouanec B., Léchappé J., 2006. Les semences : évolution au cours des 50 dernières années. C.R. Acad. Agric. Fr., 92, 21-41.
- Majumdar J.D.S, Jayas D., 2000. Classification of cereal grains using machine vision. I. Morphological models. American Society of Agricultural Engineers 43, 1669–1675
- Majumdar J.D.S, Jayas D., 2000. Classification of cereal grains using machine vision. II. Color models. American Society of Agricultural Engineers 43, 1677–1680
- Majumdar J.D.S, Jayas D., 2000. Classification of cereal grains using machine vision. III. Texture models. American Society of Agricultural Engineers 43, 1681–1687
- Majumdar J.D.S, Jayas D., 2000. Classification of cereal grains using machine vision. IV. Combined morphology. American Society of Agricultural Engineers 43, 1689–1694
- Mannino M.R., Deneufbourg F., de Goyon B., Léchappé J., 2004. Evolution de la flore adventice observée au cours des analyses de contrôle de la qualité des semences en laboratoire. Les 2èmes Rencontres du Végétal, Angers, 18 et 19 novembre 2004, Recueil des Communications. p. 160-162.
- Micó M., Labrada A., Calderón S., 1999. Use of X-ray analysis in studies of quality of seeds of some species of agricultural and forestry interest. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 240, 471-474.
- Muracciole V., Plainchault P., Bertrand D., Mannino M.R., 2007. Development of an automated device for sorting seeds - application on sunflower seeds. ICINCO-RA (1) 2007: 311-318
- Talukder A., Cassasent D., Lee H.W., Keagy P.M., Schatzki T.F., 1998. A new feature extraction method for classification of Agricultural Products from X-ray images. SPIE Conference on Precision Agriculture and Biological Quality, Boston Massachusetts, November 1998.